

# Inhalt

<b>1 Einführung</b>	1
1.1 Warum Versuche?	1
1.2 Warum Statistik?	1
1.3 Warum Versuchsplanung?	4
1.4 Welche Art von Ergebnissen kann man erwarten?	6
1.5 Versuche oder systematische Beobachtung?	8
1.6 Versuchsplanung und Six-Sigma-Strategie	8
<b>2 Ausgewählte Begriffe</b>	10
2.1 Zielgrößen	10
2.2 Einflussgrößen .....	11
2.3 Steuergrößen .....	11
2.4 Störgrößen .....	12
2.5 Faktoren .....	12
2.6 Faktorstufen .....	13
<b>3 Vorgehensweise im Überblick</b> .....	14
3.1 Ausgangssituation beschreiben .....	14
3.2 Untersuchungsziel festlegen .....	16
3.2.1 Optimale Lage des Mittelwerts .....	16
3.2.2 Reduzierung der Streuung/Robustheit .....	17
3.2.3 Erkennen der wichtigsten Störgrößen in der Fertigung .....	18
3.2.4 Gleichzeitig fertigen und lernen .....	18
3.2.5 Funktion und Zuverlässigkeit nachweisen .....	19
3.3 Zielgrößen und Faktoren festlegen .....	19
3.3.1 Auswahl der Zielgrößen .....	19
3.3.2 Sammlung der Einflussgrößen .....	20
3.3.3 Auswahl der Faktoren .....	22
3.3.4 Festlegung der Faktorstufen .....	23
3.3.5 Einflussgrößen, die nicht untersucht werden .....	25
3.4 Versuchsplan aufstellen .....	26
3.4.1 Festlegung der Faktorstufenkombinationen .....	26
3.4.2 Anzahl der Realisierungen .....	26
3.4.3 Blockbildung .....	27
3.4.4 Randomisierung .....	28
3.4.5 Aufwandsabschätzung .....	29
3.5 Versuche durchführen .....	31
3.5.1 Vorbereitung .....	31
3.5.2 Durchführung .....	32
3.6 Versuchsergebnisse auswerten .....	33
3.7 Ergebnisse interpretieren und Maßnahmen ableiten .....	36
3.7.1 Interpretation .....	36
3.7.2 Maßnahmen .....	37

---

3.8	Absicherung, Dokumentation, weiteres Vorgehen .....	38
3.8.1	Absicherung der Verbesserungen.....	38
3.8.2	Dokumentation .....	38
3.8.3	Weiteres Vorgehen.....	39
<b>4</b>	<b>Systematische Beobachtung .....</b>	<b>40</b>
4.1	Multi-Vari-Bild.....	40
4.2	Darstellung der örtlichen Verteilung von Fehlern .....	44
4.3	Prozessvergleich.....	47
4.4	Paarweiser Vergleich von Produkten.....	49
<b>5</b>	<b>Einfache Versuche .....</b>	<b>51</b>
5.1	Variablenvergleich zur Prozessverbesserung .....	51
5.2	Komponententausch zur Produktverbesserung.....	55
5.3	Überblick über die Methoden nach D. Shainin .....	58
<b>6</b>	<b>Statistische Grundlagen .....</b>	<b>59</b>
6.1	Verteilung .....	59
6.1.1	Häufigkeitsverteilung von Versuchsergebnissen .....	59
6.1.2	Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion .....	62
6.1.3	Normalverteilung .....	64
6.2	Auswertung einer Stichprobe.....	65
6.2.1	Repräsentative Stichprobe .....	65
6.2.2	Eintragung ins Wahrscheinlichkeitsnetz.....	67
6.2.3	Schätzwerte für Mittelwert $\mu$ und Varianz $\sigma^2$ .....	70
6.2.4	Vertrauensbereiche .....	72
6.3	Vergleich von zwei Mittelwerten .....	76
6.3.1	Auswertung von Versuchsergebnissen.....	77
6.3.2	Festlegung des Stichproben- bzw. Versuchsumfangs .....	83
6.3.3	Voraussetzungen .....	85
6.4	Transformation von Messwerten .....	89
6.4.1	Logarithmische Normalverteilung.....	89
6.4.2	Poisson-Verteilung .....	90
6.4.3	Box-Cox-Transformation .....	92
<b>7</b>	<b>Vollständige faktorielle Versuchspläne.....</b>	<b>94</b>
7.1	Zwei Faktoren auf je zwei Stufen.....	94
7.1.1	Versuchsplan und Effekte .....	94
7.1.2	Auswerteformalismus und Beurteilung der Signifikanz.....	97
7.1.3	Interpretation von Wechselwirkungen .....	99
7.1.4	Randomisierung und Blockbildung.....	101
7.2	k Faktoren auf je zwei Stufen .....	106
7.2.1	Versuchsplan.....	106
7.2.2	Auswertung .....	107
7.2.3	Versuchsumfang .....	113

---

7.3 Auswertung von Versuchsplänen mit $n = 1$ .....	114
7.3.1 Wahrscheinlichkeitsdarstellung der Effekte.....	114
7.3.2 Schätzung der Zufallsstreuung durch „Pooling“ .....	118
7.3.3 Risiken .....	120
<b>8 Screening-Versuchspläne.....</b>	<b>121</b>
8.1 Hintergrund .....	121
8.2 Fraktionelle faktorielle Versuchspläne .....	122
8.2.1 Der fraktionelle faktorielle $2^{4-1}$ -Plan als Beispiel .....	122
8.2.2 Anwendung des $2^{4-1}$ -Plans zur Blockbildung.....	126
8.2.3 Fraktioneller faktorieller $2^{k-p}$ -Plan.....	129
8.2.4 Was bedeutet Vermengung?.....	132
8.2.5 Auflösung.....	136
8.2.6 Überblick über $2^{k-p}$ -Pläne .....	137
8.2.7 Praxisbeispiel Reflowlöten .....	139
8.3 Plackett-Burman-Versuchspläne * .....	148
8.3.1 Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung III .....	149
8.3.2 Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung IV .....	151
8.3.3 Übersättigte Pläne .....	152
8.4 Weitere Screening-Versuchspläne * .....	152
8.5 Funktionstest * .....	153
8.6 Einsatzempfehlungen .....	155
<b>9 Robuste Produkte/Prozesse .....</b>	<b>157</b>
9.1 Ziel und Strategie von G. Taguchi .....	157
9.1.1 Qualitätsziel: Streuung minimieren.....	158
9.1.2 Entwicklungsstrategie: Robuste Produkte/Prozesse .....	158
9.2 Taguchis Versuchspläne und ihre Auswertung .....	160
9.3 Alternative Ansätze .....	168
9.3.1 Aus der Differenz von Messwerten abgeleitete Zielgrößen .....	168
9.3.2 Wechselwirkung zwischen Steuer- und Rauschfaktoren .....	169
9.4 Anmerkungen zu den „Orthogonalen Feldern“ u.ä. * .....	170
9.4.1 Orthogonale Felder .....	170
9.4.2 Lineare Graphen und Dreieckstabellen .....	171
9.4.3 Dummy Levels, Pseudo Factor Designs, Idle Columns .....	172
<b>10 Regressionsanalyse .....</b>	<b>174</b>
10.1 Einfache lineare Regression .....	174
10.1.1 Methode der kleinsten Quadrate .....	175
10.1.2 Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient .....	177
10.1.3 Grafische Beurteilung der Residuen .....	180
10.1.4 Vertrauensbereiche und Signifikanz.....	182
10.1.5 Zusammenhang lineare Regression – Mittelwertvergleich.....	187
10.1.6 Quasilineare Regression .....	188
10.2 Mehrfache Regression.....	188
10.2.1 Zweifache lineare Regression .....	189
10.2.2 Transformierte Einflussgrößen .....	192

---

10.2.3 Prinzip der schrittweisen Regression .....	195
10.2.4 Beurteilung des Regressionsmodells .....	196
<b>11 Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge .....</b>	<b>198</b>
11.1 Zentral zusammengesetzte Versuchspläne.....	198
11.1.1 Orthogonaler Versuchsplan.....	199
11.1.2 Technisch bedingte Abweichungen vom Versuchsplan.....	201
11.1.3 Bekannte nichtlineare Abhängigkeiten.....	201
11.1.4 Varianten von zentral zusammengesetzten Plänen.....	202
11.1.5 Praxisbeispiel Laserschneiden.....	205
11.2 Alternative Pläne * .....	212
11.2.1 $3^k$ - und $3^{k-p}$ -Pläne .....	212
11.2.2 Box-Behnken-Pläne .....	213
11.2.3 Kleine zusammengesetzte Pläne .....	214
11.2.4 Optimale Pläne .....	215
11.3 Grenzen des quadratischen Modells .....	217
11.4 Einsatzempfehlungen .....	219
<b>12 Varianzanalyse.....</b>	<b>221</b>
12.1 Einfache balancierte Varianzanalyse.....	221
12.2 Mehrfache Varianzanalyse .....	227
12.3 Feste und zufällige Effekte * .....	230
12.4 Nicht vollständige Randomisierung * .....	232
12.4.1 Alle Realisierungen einer Kombination gemeinsam.....	232
12.4.2 Split-Plot Versuche .....	233
<b>13 Screening für mehrstufige Faktoren * .....</b>	<b>235</b>
13.1 Versuchspläne .....	235
13.2 Auswertung .....	236
13.3 Einsatzempfehlungen .....	238
<b>14 Versuchspläne für Mischungen * .....</b>	<b>239</b>
14.1 Mischungspläne ohne Begrenzungen .....	240
14.2 Auswertung von Mischungsplänen .....	242
14.3 Mischungspläne mit Begrenzungen.....	242
14.4 Kombinierte Versuchspläne.....	243
<b>15 Spezielle Zielgrößen * .....</b>	<b>245</b>
15.1 Gut-Schlecht-Ergebnisse.....	245
15.1.1 Möglichkeiten zur Vermeidung.....	245
15.1.2 Auswertung .....	247
15.2 Anzahl Fehler.....	251
15.3 Mehrere Zielgrößen .....	252

---

<b>16 Sequentielle Optimierungsverfahren *</b> .....	259
16.1 <u>Evolutionary Operations</u> (EVOP) .....	260
16.2 Methode des steilsten Anstiegs .....	262
16.3 Simplexverfahren .....	263
16.4 Neuere Entwicklungen .....	265
16.5 Alternative Modellansätze .....	267
<b>17 Erweiterung von Versuchsplänen *</b> .....	269
17.1 Trennung vermengter Wechselwirkungen .....	269
17.2 Zentrumspunkt .....	271
17.3 Zuordnung quadratischer Effekte .....	273
17.4 Nicht realisierbare Faktorstufenkombinationen .....	275
<b>18 Software *</b> .....	278
18.1 Allgemeine Hinweise .....	278
18.2 Beschreibung ausgewählter Programme .....	279
18.3 Spezielle Anwendungsbereiche .....	286
<b>19 Beispiele *</b> .....	288
19.1 Beispiel Motoroptimierung .....	288
19.2 Literaturbeispiele .....	293
19.3 Übungsbeispiele .....	294
19.3.1 Papier-Rotor .....	294
19.3.2 Nürnberger Trichter .....	297
<b>Anhang A – Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....	299
<b>Anhang B – Statistische Tabellen</b> .....	300
<b>Anhang C – Wegweiser durch die Verfahren</b> .....	302
<b>Anhang D – Ablauf einer Versuchsplanung</b> .....	304
<b>Anhang E – Ablauf einer Datenauswertung</b> .....	305
<b>Anhang F – JAVA-Applets auf der DVD</b> .....	306
<b>Anhang G – Software/Beispiele auf der DVD</b> .....	310
<b>Anhang H – Software/Demos im Internet</b> .....	313
<b>Index</b> .....	317

\* Für das Verständnis der folgenden Kapitel nicht erforderlich